

Н.А. Бабайлов, С.П. Буркин, Е.А. Коршунов, Ю.Н. Логинов, А.В. Разинкин,  
Е.А. Андрюкова  
ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет – УПИ

## **ЛИТЬЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ВЧШГ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕССОВОГО ИНСТРУМЕНТА**

Прессование алюминиевых сплавов, несмотря на их сравнительно низкое сопротивление деформации, затруднено из-за налипания деформируемого металла на рабочие поверхности инструмента. Это явление порождает продольные риски на прессизделиях, а необходимость частых зачисток приводит к потере производительности и быстрому износу, как матриц, так и контейнеров.

Применение серого чугуна как материала прессового инструмента решает проблему налипания алюминия на контактные поверхности. Однако прочность и износостойкость инструмента существенно ограничивают области использования этого сравнительно дешевого материала. Чугун с шаровидным графитом оказывается наиболее пригодным и перспективным материалом для матриц и втулок контейнера. Как известно наибольшей износостойкостью обладают ВЧШГ с феррит-перлитной матрицей при содержании феррита 30...33%. Однако в литом состоянии ВЧШГ не удовлетворяет требованиям прочности инструмента. Поскольку чугун, у которого форма графитовых включений близка к сферической, достаточно пластичен в диапазоне температур 900...1050°C, деформационной обработкой легко достигается существенное упрочнение металлической матрицы. При организации процесса пластической деформации следует выбирать схемы напряженно-деформированного состояния, при которых нет существенного нарушения формы графитовых включений, а показатель напряженного состояния существенно отрицателен (схема всестороннего сжатия).

Для изготовления прессовых матриц из деформированного ВЧШГ найдено несколько технологических вариантов двухэтапного обжатия полых литых заготовок, при которых соблюдаются указанные требования. Найденная, исследованная и опробованная в промышленных условиях технология горячейковки

матриц из ВЧШГ ужесточила требования к качеству литых заготовок. Дляковки требуется полая плакированная внутри нержавеющей сталью заготовка с однородной мелкозернистой структурой без термических трещин. Кроме того, успех деформационной обработки во многом определяется отсутствием разностенности полой заготовки.

На основе анализа известных способов литья биметаллических полых заготовок выбран, как наиболее пригодный, способ формирования отливки намораживанием на полый трубчатый кристаллизатор, изготавливаемый в частности из нержавеющей стали (12X18Н9Т). С целью устранения транспортных операций и перелива расплава, плавка и разливка совмещены в одном агрегате, имеющем плавильную и литейную секции. Секции связаны металлопроводом. В плавильной секции установлена система магнито-гидродинамического вращения расплава. При формировании параболической лунки расплав поднимается вдоль стенок цилиндрической плавильной секции и сифонным способом - в разливочной секции. Кроме магнитного вращателя плавильно-литейный агрегат оснащен устройством канального нагрева, что обеспечивает возможность эффективного управления температурным режимом, как плавки, так и разливки.

Частотное управление скоростью вращения расплава обеспечивает режим циклического движения расплава вдоль фронта кристаллизации слитка, вертикально установленного в разливочной секции. Послойное намораживание гарантирует подавление ликвационных процессов и формирование мелкозернистой структуры слитка.

Используемый плавильно-литейный агрегат решает многие проблемы выплавки и разливки чугуна с шаровидным графитом. Во-первых, вращающийся активно перемешивающийся расплав и развитая поверхность мениска жидкого чугуна в плавильной секции способствуют эффективному протеканию процессов десульфурации и модифицирования. Во-вторых, порционная подача сфероидизатора в разливочную секцию на каждом цикле осевого перемещения расплава решает проблему сфероидизации с максимальной эффективностью.

При исследовании описанной технологии формирования литой полый заготовки под последующую штамповку использован метод конечных элементов для описания кинетики роста слитка при намораживании на трубчатый водоохлаждаемый кристаллизатор и полей термоупругопластических напряжений в объеме заготовки при ее формировании и последующем охлаждении.

Моделирование процесса затвердевания биметаллической заготовки «нержавеющая сталь-ВЧШГ» сведено к решению следующих задач:

- определение времени затвердевания заготовки конкретного технологически оправданного диаметра ( $D_3=200$  мм) в зависимости от определяющих параметров процесса разливки;
- определение возможности подплавления трубы-кристаллизатора (для выявления оптимальной толщины внутреннего слоя заготовки);
- определение термических напряжений при затвердевании и последующем охлаждении слитка на воздухе;
- анализ условий охлаждения кристаллизатора, при которых за счет пластической деформации трубы обеспечивается упругая разгрузка термонапряженного состояния слитка в процессе затвердевания и усадки.

Изучена возможность одновременного получения нескольких заготовок, что обеспечивается установкой разделительных керамических колец на трубчатый кристаллизатор, заглушённый внизу пробкой и охлаждаемый внутри с регламентированной интенсивностью. Принято, что все поверхности, кроме охлаждаемой поверхности кристаллизатора, находятся в адиабатических условиях, и внутри трубы задано охлаждение по закону Ньютона (граничные условия Шрода), с температурой внутренней поверхности  $30^{\circ}\text{C}$ . Теплообмен между расплавом и стенками разливочной секции отсутствует.

В результате решения задачи построены кинетические кривые затвердевания для различных  $\alpha_k$ , размеров кристаллизатора и литейной секции, температур перегрева расплава. Используя эти кривые легко определить фронт кристаллизации отливки в любой момент времени затвердевания. В частности, возможно определение положений фронтов солидуса и ликвидуса. Это важно

для организации процесса калибровки отливки при ее протяжке через графитовое кольцо, устанавливаемое в крышке литейной секции. Калибровка слитка возможна, когда  $R_S < R_K < R_L$  где  $R_K$  - радиус калибровочного кольца;  $R_S$  и  $R_L$  – радиусы фронтов соответственно солидуса и ликвидуса.

Установлено, что даже при сравнительно низком значении  $\alpha_k$  (250 Вт/м<sup>2</sup>К) температура наружной поверхности кристаллизатора в начальный период намораживания поднимается лишь до 1127°С. это ниже температур, как солидуса, так и ликвидуса. Следовательно, в случае охлаждения кристаллизатора водой подплавление стальной трубы не наблюдается, а плотное соединение слоев биметаллической заготовки достигается за счет усадки чугуна при кристаллизации. В то же время, количественный анализ иных режимов охлаждения (воздухом, водо-воздушной смесью) показывает реальную возможность осуществления процесса намораживания с подплавлением поверхности трубы-кристаллизатора. В этом случае формируется промежуточный сплав между сталью и чугуном, обеспечивающий более надежное соединение слоев. Состав и свойства этого промежуточного сплава могут быть установлены лишь при экспериментальном исследовании. Результаты экспериментов не вошли в материалы данной работы, поэтому прогнозирование прочности соединения слоев биметаллической полученной намораживанием заготовки здесь не делается.

С точки зрения характера возникающего при затвердевании отливки напряженного состояния процесс намораживания менее благоприятен для сохранения сплошности металла, чем традиционный процесс формирования слитков во внешних кристаллизаторах или в изложницах. Поэтому расчет напряжений в отливке при намораживании и последующем охлаждении на воздухе является необходимой процедурой проектирования технологии.

Задача расчета термоупругопластических напряжений, как и предыдущая, решалась методом конечных элементов. Напряжения определяются в момент времени  $t_i$ , для которого диаметр наружной поверхности имеет строго заданное (кратное 0,005 м) значение. Наружная поверхность заготовки  $R(t)$ , которая является фронтом солидуса, - переменная величина. На внутренней и внешней

поверхностях полый заготовки принимаются граничные условия III рода. Температура окружающей среды  $T^*=30^\circ\text{C}$ . Коэффициент конвективного теплоотвода  $\alpha_k$  принят равным 250 и 1250 Вт/м<sup>2</sup>К. На остальных поверхностях заготовки заданы граничные условия II рода, т.е. тепловой поток на этих поверхностях равен нулю (адиабатические условия или условия тепловой изоляции). Принято, что между трубой-кристаллизатором и намораживаемой чугуновой заготовкой сохраняется идеальный тепловой и механический контакт. Температура, при которой напряжения равны нулю (характеристическая температура) - 30°C.

Данные по механическим свойствам чугуна и стали, установленные на основе анализа литературных данных и приведенные в табл.1, включают кроме всего прочего сопротивление деформации ( $\sigma_T$ , поскольку расчет термических напряжений выполняется с учетом пластической деформации).

Таблица 1

Механические свойства чугуна и стали

Параметр		Температура					
		0	550	750	950	1100	1150
Чугун	$E$ , ГПа	180	174	122	49	16	5
	$\mu$	0,3	0,37	0,41	0,45	0,49	0,49
	$\alpha$ , К <sup>-1</sup>	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$1,98 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
	$\sigma_T$ , МПа	-	-	140	45	32	-
Сталь	$E$ , ГПа	210	133	93	49	16	5
	$\mu$	0,3	0,37	0,41	0,45	0,49	0,49
	$\alpha$ , К <sup>-1</sup>	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,92 \cdot 10^{-5}$	$1,98 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
	$\sigma_T$ , МПа	220	205	130	90	65	52

Следует отметить, что приведенные здесь результаты расчета получены на достаточно грубой конечно-элементной сетке и являются оценкой термических напряжений в заготовке.

Для оценки наличия и определения положения зон пластической деформации в отливке удобно использовать коэффициент  $K$ , заданный отношением напряжения  $\sigma_u$  к сопротивлению деформации  $\sigma_T$ . Полученные значения  $K$  для случая медленного охлаждения ( $\alpha_k=250$  Вт/м<sup>2</sup>К), свидетельствуют, что термические напряжения не превышают предел текучести при соответствующей температуре, в отличие от ускоренного охлаждения ( $\alpha_k=1250$  Вт/м<sup>2</sup>К). В последнем

случае, как следует из расчета, как в трубе-кристаллизаторе, так и в заготовке возможно развитие пластической деформации, а следовательно и разрушение, если учесть низкую пластичность металла в окрестности температуры солидуса.

Численный анализ при широком варьировании коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_k$  на внутренней поверхности трубы-кристаллизатора и температуры перегрева показывает возможность значительного снижения уровня термонапряжений за счет пластической деформации металла кристаллизатора при его радиальном обжатию кристаллизующимся металлом заготовки. Проведен также анализ распределения внутренних напряжений в охлаждаемой на воздухе отливной заготовке с начальным распределением температуры по сечению, показанным в табл. 2.

Таблица 2

Начальное температурное состояние заготовки

$\alpha_k$ , Вт/м <sup>2</sup> К	Расстояние от оси заготовки, м										
	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1
1250	537	675	764	844	916	981	1040	1093	1140	1179	1211
250	961	1002	1035	1065	1092	1118	1141	1162	1181	1198	1213

Варьируемым параметром в этом исследовании является коэффициент теплоотдачи  $\alpha_k$  на внутренней и внешней поверхности заготовки:

- охлаждение на спокойном воздухе  $\alpha_{k1} = 25$  Вт/м<sup>2</sup>К;
- охлаждение с принудительным обдувом  $\alpha_{k1} = 250$  Вт/м<sup>2</sup>К.

Расчет термических напряжений выполнялся с учетом пластической деформации. В обоих случаях охлаждения уровень термоупругопластических напряжений не создает опасности разрушения литой заготовки.

Библиографическое описание:

1. Любченко А.П. Высокопрочные чугуны. М.: Металлургия, 1982. 120 с.
2. Баландин Г.Ф. Литье намораживанием. М.: Машгиз, 1962. 264 с.
3. Вейник А.И. Литье намораживанием. Минск: Высшая школа, 1964. 36 с.